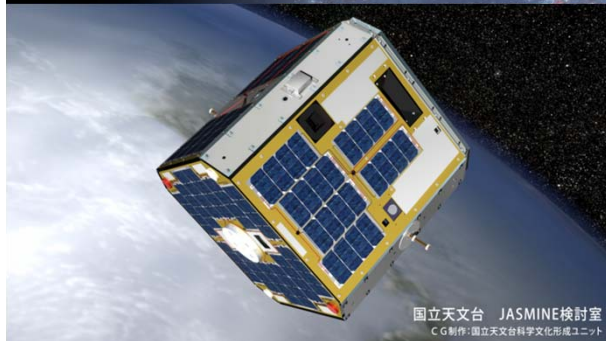


水沢VLBI観測所UM 2014.9.25

# JASMINE計画の概要とVERAとの連携

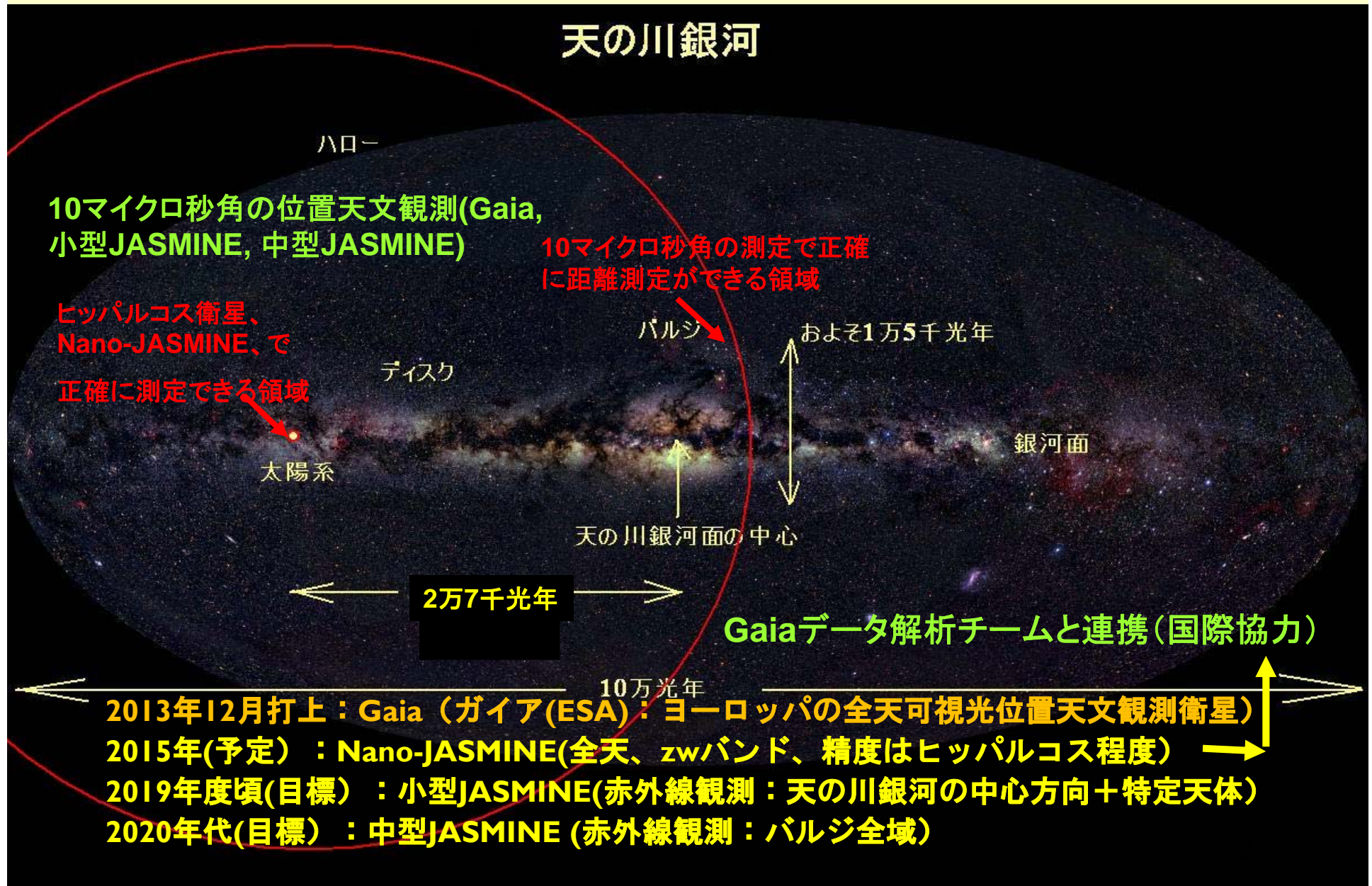
～Nano-JASMINEと小型JASMINEを中心に～

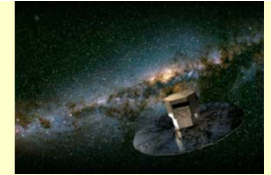
郷田直輝（国立天文台JASMINE検討室）



イプシロンロケット

# § 1. ヒッパルコス衛星と今後の位置天文観測衛星計画





## ★位置天文観測の大革命時代到来

Gaiaは革命的：

**質**（ $10\mu$ 秒角クラスの位置決定精度）、**量**（約10億個の星）とも画期的な星の位置、距離、速度情報が得られる時代に突入！

\*今後、約5年間の運用観測、データ解析を経て、2021年頃に最終カタログを公開予定（それまでに4回程度の間隔リリースも予定。最初は、2016年7月を予定）

## Gaiaを補完するデータの必要性も高まっている

○Gaiaは、明るい星（6等星以下）が、検出器上で光があふれる。精度は詳細検討中。

○Gaiaデータのvalidationのため、他の全天位置天文観測データが必要

➡ Nano-JASMINE計画

○可視光観測=>天の川銀河の中心付近の観測は苦手（塵が可視光を吸収）

➡ 電波、近赤外線帯域での観測が有利 =>VERA、小型・中型JASMINE計画

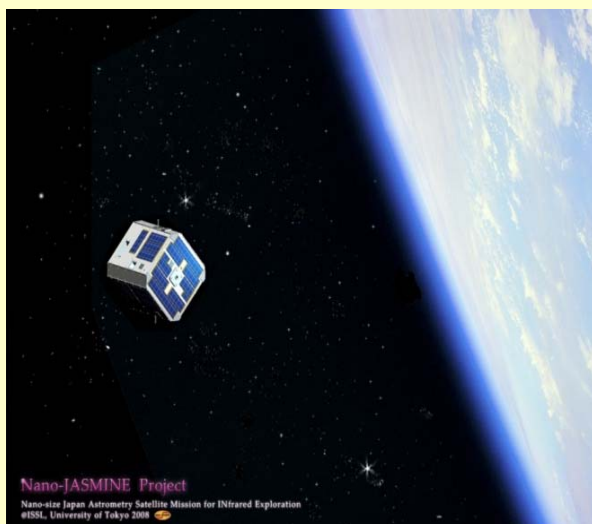
○全天サーベイ=>同一天体の観測頻度が低い（1, 2ヶ月に1回） =>短周期変動現象は苦手

➡ 高時間分解能(高頻度)な観測 =>小型JASMINE計画、VERAも？！

○もっと暗い天体

➡ (狭い視野内に限られるが)AOや干渉計を用いた地上の大型望遠鏡(GRAVITY, TMT, ...)、SKA

## § 2. 赤外線位置天文観測衛星：JASMINE計画シリーズ

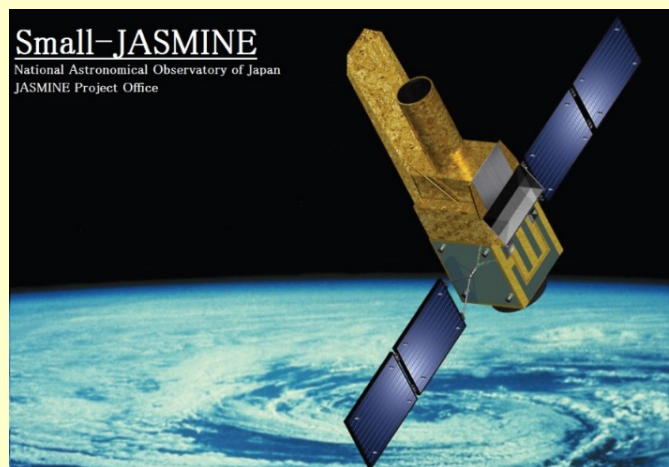


### Nano-JASMINE

主鏡口径5cm  
 ~3ミリ秒角 全天サーベイ、  
 zw-band(0.6~1.0ミクロン)  
 打ち上げ:2015年  
 衛星重量:35kg

日本初のスペースアストロメトリの経験。  
 衛星開発+打ち上げ:1億円程度、  
 ウクライナのロケットでブラジルから打ち上げ(2015年)

- 単独ではヒッパルコス程度の精度。ヒッパルコスと組み合わせると、固有運動精度は1桁程度向上
- 太陽系近傍のダークマター分布、星形成、星団の物理など



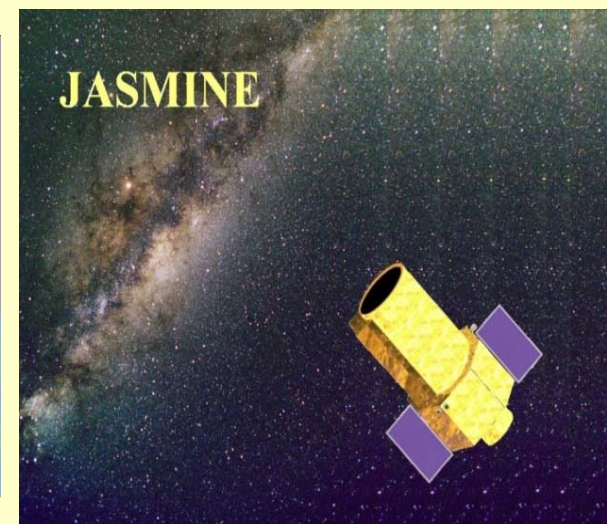
### 小型JASMINE

主鏡口径30cm級  
 10マイクロ秒角程度 狭領域サーベイ  
 Hw-band(1.1~1.7ミクロン)  
 打ち上げ目標:2019年度頃  
 衛星重量:~400kg

天の川銀河の中心近くのバルジの星の位置天文情報を世界で初めて得る。

JAXA宇宙研のイプシロン搭載宇宙科学ミッション(小型科学衛星)枠に応募

- 世界に先駆けて、銀河系中心付近でのバルジ構造、星形成史、巨大BHの進化などの研究進展を目標
- X線連星の軌道要素決定、系外惑星などの特定天体もターゲットにする。

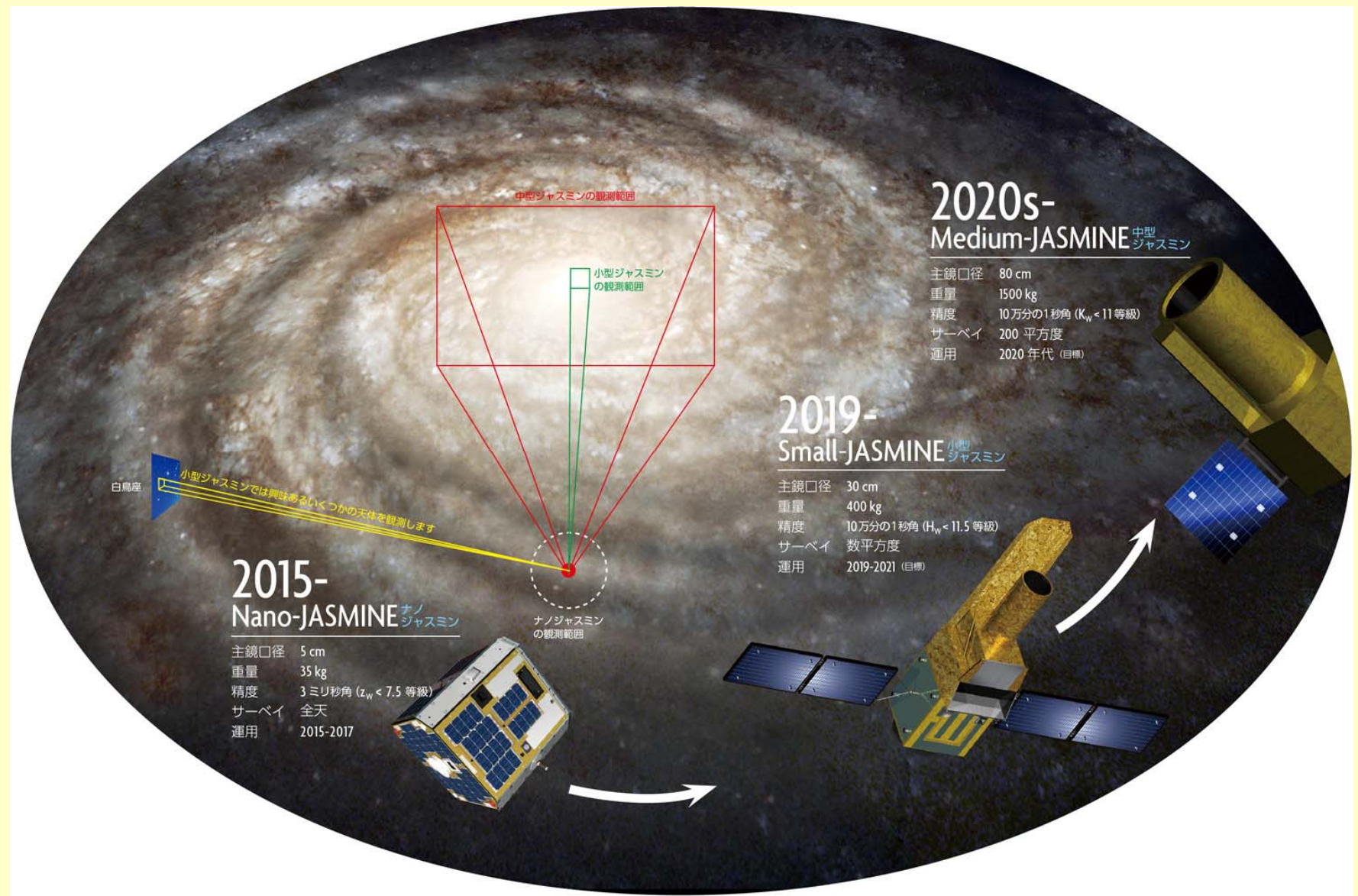


### (中型)JASMINE

主鏡口径80cm級  
 10マイクロ秒角程度  
 広領域サーベイ  
 Kw-band(1.5~2.5ミクロン)  
 打ち上げ目標:2020年代  
 衛星重量:~1500kg

100万個レベルのバルジの星の位置天文情報

- 測定精度は、小型JASMINEと同様
- バルジ方向の20度×10度をサーベイする。
- 小型JASMINEでの観測個数や領域が小さいことを補い、統計精度を向上
- WISHとのマージや全面的な国際協力も視野



白鳥座

小型ジャスミンでは興味あるいくつかの天体を観測します

### 2015- Nano-JASMINE ナノジャスミン

主鏡口径 5 cm  
 重量 35 kg  
 精度 3 ミリ秒角 ( $\alpha_w < 7.5$  等級)  
 サーベイ 全天  
 運用 2015-2017

中密ジャスミンの観測範囲

小型ジャスミンの観測範囲

ナノジャスミンの観測範囲

### 2020s- Medium-JASMINE 中型ジャスミン

主鏡口径 80 cm  
 重量 1500 kg  
 精度 10 万分の1 秒角 ( $K_w < 11$  等級)  
 サーベイ 200 平方度  
 運用 2020 年代 (目標)

### 2019- Small-JASMINE 小型ジャスミン

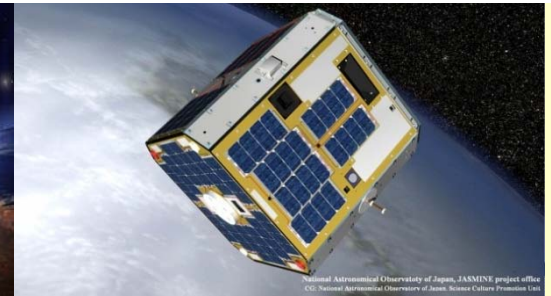
主鏡口径 30 cm  
 重量 400 kg  
 精度 10 万分の1 秒角 ( $H_w < 11.5$  等級)  
 サーベイ 数平方度  
 運用 2019-2021 (目標)

# § 3. Nano-JASMINE計画の状況

## Nano-JASMINEの仕様

主鏡口径5cm  
~3mas 全天サーベイ  
zw-band(0.6~1.0ミクロン)  
打ち上げ日程:2015年後半の予定(ウクライナ情勢、ブラジルの射場建設遅れが懸念材料)  
衛星重量:35kg

主要推進機関:国立天文台JASMINE検討室、  
東大工学部中須賀研究室、京都大学理学部、東京海洋大学など



FMの組立完成

○推進状況:FMは約4年前に完成。性能の維持管理を定期的試験等により実施中。  
運用訓練(約1ヶ月間)を2回実施済み。データ解析準備

\*Nano-JASMINEとGaiaは観測手法やデータ解析方法が同等のため、  
データ解析に関してGaiaデータ解析チーム(DPAC)との国際協力でも  
精力的に進められている。国内体制も強化した。



○科学的成果: 単独ではヒッパルコス程度の精度(~3mas)だが、  
ヒッパルコスカタログと組み合わせると、固有運動精度は1桁程度向上(~0.1mas/year)  
年周視差も精度向上(~0.75mas)、長周期(10年~40年程度)連星の判別と軌道要素決定

20万個の星(zw<7.5等) (精度は多少悪化するが、  
50万個の星(zw<9等)をダウンロード予定)

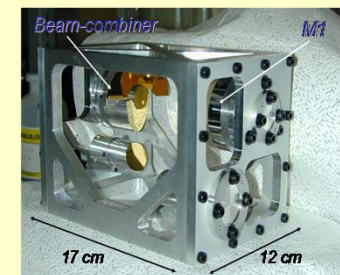
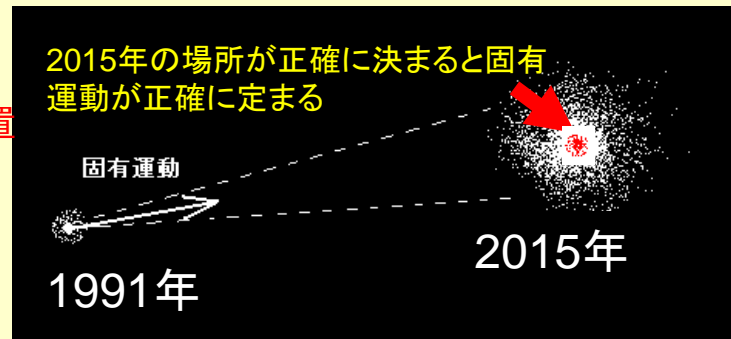
\* Gaiaでは測定が苦手な明るい星(G<6)の位置  
天文情報を提供可能。Gaiaの補完となるため、  
Gaiaチームからの期待も大きい。

将来、GaiaとNano-JASMINEのデータを  
合わせたアーカイブを作成予定。  
検討費用がヨーロッパで採択された。

2014年7月にJASMINEとGaiaとの合同ミーティング@ウィーン

\* JASMINEチーム以外のコミュニティ有志からなるサイエンスWG(代表・西 亮一  
(新潟大))が別途形成され、具体的な科学的成果の検討が進んでいる。

=>2014年6月26日に第3回サイエンス検討会を開催。具体的な研究対象天体の検討。



Spaceport  
@Alcantara, Brazil



# ★Nano-JASMINEで期待される科学的成果の例

## I.(ヒッパルコスカタログとの組み合わせによる)固有運動の精度アップ:

全天で50万個の星



~0.1ミリ秒角/年(1km/s@1kpc)@zw=7等

~0.2ミリ秒角/年(2km/s@1kpc)@zw=9等

NJサイエンス検討WG

西、奥山(新潟大)、半田、今井(鹿大)、  
山岡(九大)、穂積(滋賀大)、板、小野里(東北  
大)、田辺(東大)、吉岡(東京海洋大)、本間、  
廣田、永山、坂井(NAOJ-VERA)、  
JASMINEチーム

### ○星形成領域での星の位置と固有運動

\* 例えば、オリオン領域での大質量星の固有運動  
=>個々の大質量星の形成場所や形成起源の研究

### ○変光星の種類、種族による運動の違い。

\* zwバンドの有効性を活かし、ヒッパルコスでは見えなかったすこし遠くのミラ型変光星の運動が見えてくる。

### ○太陽系近傍の変光星、星団の固有運動を用いた近傍の銀河力学、渦巻き構造

\* 運動情報による星団の同定。星団に属する星の同定と星形成史。

\* 近傍の共鳴軌道の判別=>天の川銀河の力学構造を反映

### ○周期が6年から40年程度の明るい連星の判別、軌道要素などの解明

\* 北極星、アルビレオ、アルクトゥールスなど

### ○VERAとタイアップした星形成領域の構造、星の形成史など

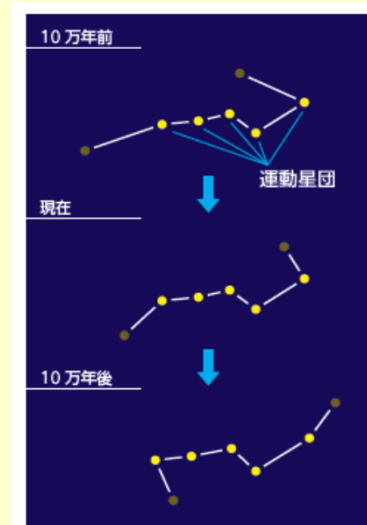
\* Gaiaでは測定が苦手な

明るい星( $G < 6$ 等)の観測を  
補う意義もある。

興味ある重要な個別天体が  
多数ある。

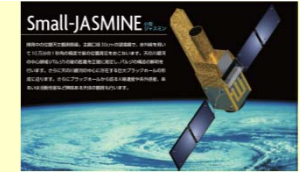


連星 (アルビレオ)



運動星団 (北斗七星)

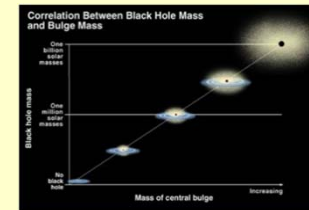
## § 4. 小型JASMINE計画



### ★ミッション概要:

- \* **Hwバンド**(1.1~1.7  $\mu\text{m}$ )の波長域における撮像観測を**高頻度**(約100分に1回)で行い、**天体の天球面上での位置の時間変動(時系列データ)**を10  $\mu\text{as}$ クラスの高精度で測定する(位置天文観測)計画。時系列データやそこから導出される年周視差、固有運動等を**カタログ**として提供。
- \* 可視光で見通すことが困難な**銀河系中心方向の数平方度の領域の星々**、および(高頻度測定を活かせる)**興味ある特定天体**(**X線やガンマ線連星系、低質量星の系外惑星系、活動恒星、星形成領域**など)に対して観測。
- \* **口径30cm**の望遠鏡を打ち上げる。
- \* 小型JASMINE計画は、JAXA宇宙科学研究所の**イプシロン搭載宇宙科学ミッション**に応募。

★科学目的: 以上のように観測された時系列データをもとに、以下のような大きな科学目的の達成を目標としている。



○主な大目的(ミッション要求に直接つながるもの):

### 巨大ブラックホールと銀河バルジの共進化の解明

- 銀河形成標準理論の検証につながる巨大ブラックホールの合体形成説の観測的検証
- 巨大ブラックホールへの物質供給機構を決定づける銀河系中心核バルジの重力場解析

○副次的目的: 銀河系内天体で、**短時間変動現象を伴い近赤外線**で明るく物理的に興味がある、いくつかの**特定天体**(例えば、**高エネルギー天体連星系、恒星が低質量な系外惑星系、活動恒星**など)に対象を特化し、これらの天体の物理的解明。

★近赤外線帯域での高頻度な位置天文観測という世界でユニークな特徴があり、Gaiaの補完になる重要なミッションということで、世界の位置天文学コミュニティの組織であるIAU Commission 8から正式な推薦を受けた。



# ★主目的の具体的科学目標

## (1) 巨大BHの合体の検証による銀河形成標準論の検証

○巨大BHの形成問題は、半世紀におよぶ天文学の大問題

- \* 中間質量BH同士の合体か？ ガスの降着か？  
それとも両方の効果か？

\* 銀河形成の標準理論(銀河同士の合体)との関連は？

天の川銀河中心の巨大BHでは合体が起こったか？

=> 中心付近の星の位相空間分布へ影響。  
その痕跡を調べる。合体の是非の判断

## (2) 巨大BHへの物質供給機構(角運動量損失)を決定づける 重力場モデルの制限

★巨大BHの進化<=ガスや星、中間BHの供給

○巨大BHへのガスや星、星団中の中間質量BH  
の供給→角運動量の損失が必要 \* 銀河系中心付近での活動性にも関連  
(星や星団(super star cluster)形成など)

○バルジ: 回転する棒状構造

- \* 同じエネルギーで2つのX1とX2軌道群が共存領域あり。
- \* X1軌道は内縁部で自己交差。

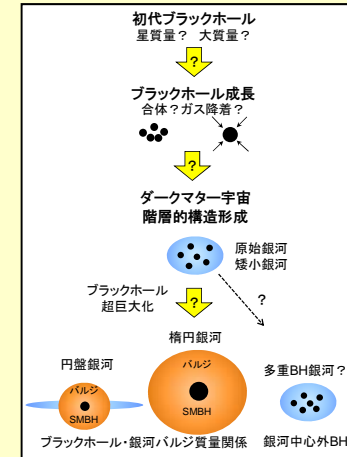


- \* ガスの角運動量、エネルギー損失。
- \* X2の親軌道にそって分子雲が生まれる。
- \* 分子雲で生まれた星や星団が中心に落下？！

供給機構=>軌道群の特徴や存在領域  
=>重力場に強く依存:  
今後の進化を決める！

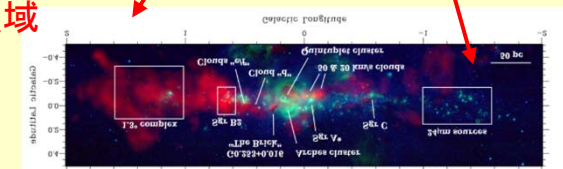
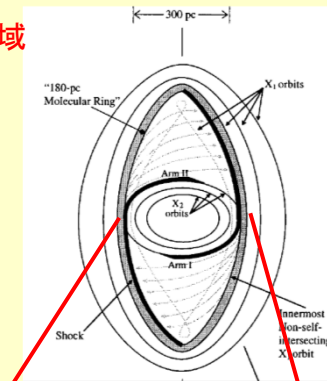
星の軌道分布(位相空間分布) => 重力場モデルを制限

## 過去を調べる



## 未来を調べる

中心核バルジ領域

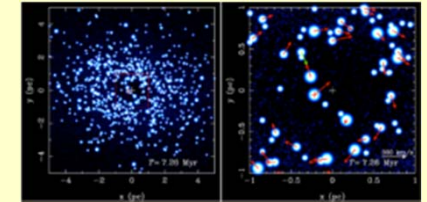
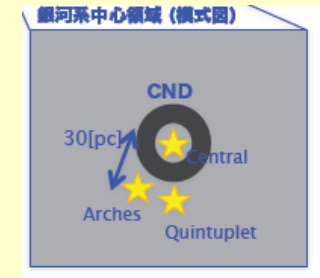


CMZ(中心分子雲帯)

# ★副次的な科学的目標

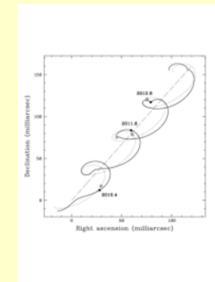
## (1)銀河系中心領域

- 中心付近の星団の運動→星団の起源、中心付近の重力ポテンシャルの解明
- バルジ内の共生星X線連星やX線点源の解明
- 星間吸収物質の3次元分布
- 中心付近の変光星の物理的解明
- .....



## (2)中心方向以外にある特定天体

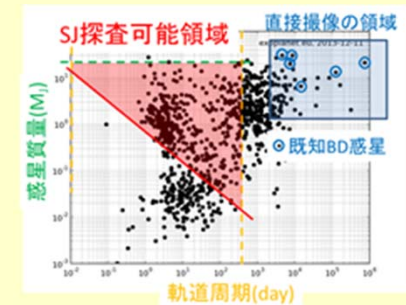
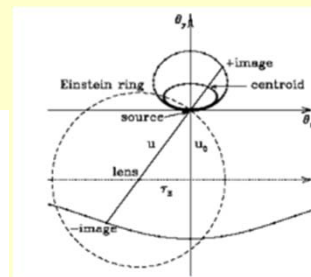
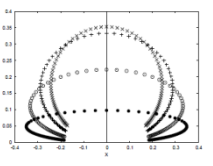
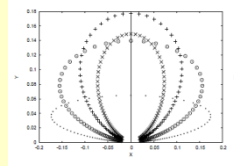
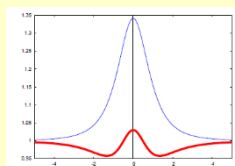
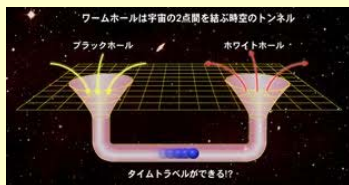
- X線連星系 (CygX-1など)の軌道要素決定→降着円盤やジェットの基礎的な物理に迫る
- ガンマ線連星系の軌道要素解析→高密度星の正体判別、放射モデルへの強い制限
- 系外惑星探査(位置天文法による検出):特に主星が低質量星の場合。  
褐色矮星まわりの惑星発見。



- 既知の系外惑星の軌道要素決定→惑星の質量決定、惑星形成モデルの制限など。
- 恒星表面上での活動(黒点等)→活動恒星の物理的解明
- 星形成領域の3次元分布
- 重力レンズ効果→重力レンズ天体の物理的解明

ワームホールの発見?!

- .....



# ★観測プログラム:

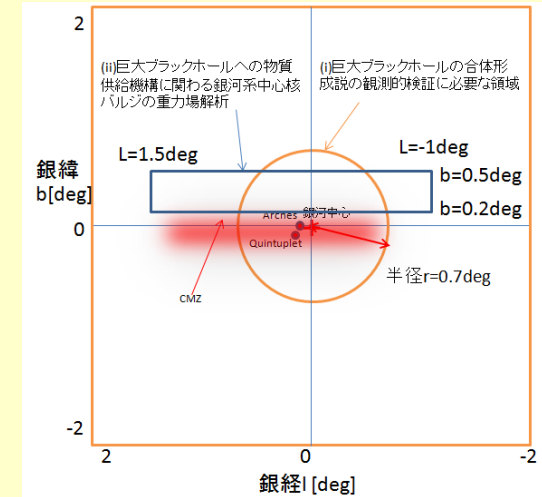
## ○サーベイ領域:

(1) **銀河系中心方向の領域**  
(数万個の星数) : 春と秋に観測

(2) **特定天体方向** (候補天体例: Cyg X-1、  
ガンマ線連星系、系外惑星系など)  
夏と冬の一部に観測 (観測方向に制限有り)

**\* 共同利用の一環として、公募により、観測天体やその優先度を決定予定。**

銀河系中心方向のサーベイ領域 →



## ○観測精度(目標):

(1) 銀河系中心方向: **年周視差** 10~70 $\mu$ as、  
**固有運動** 10~70 $\mu$ as/yr

(Hwバンドで11.5等級より明るい星に対して達成)

**\* 9mag < Hw < 12magの星のデータをダウンロード**

(2) 特定天体方向: **対象天体の科学目的に応じて10 $\mu$ as以上の相対位置精度**

○ **測光精度は相対精度で0.01mag以下**

○ 観測データは、天体の天球面上での位置および測光の時系列データ、およびそれを解析した、天体毎の年周視差、固有運動なども提供。

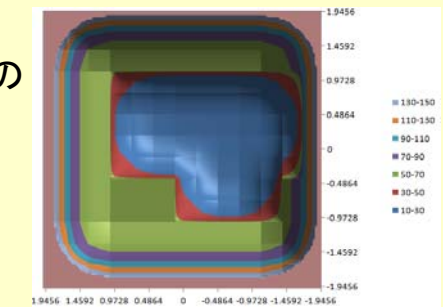
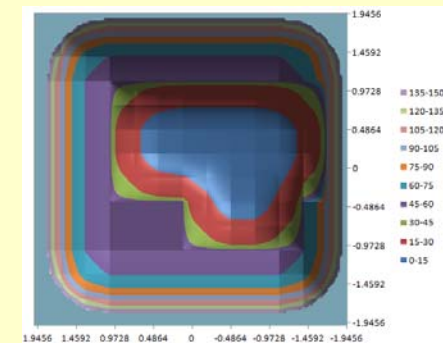
○ 時系列データは、特定天体に対しては、約50分間の連続撮像、その後約50分間の非観測時間、そして再度約50分間の連続撮像データ。

観測の総時間までそれが繰り返される。

銀河系中心付近に関しても、ほぼ同様。

○ **観測期間: 3年間程度**

○ **軌道: 太陽同期軌道 (高度約550km)**



# ★小型JASMINEミッション部の仕様案

## ○観測装置仕様案

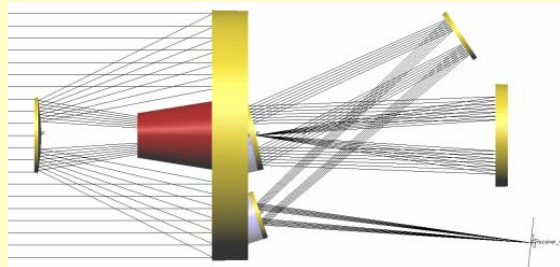
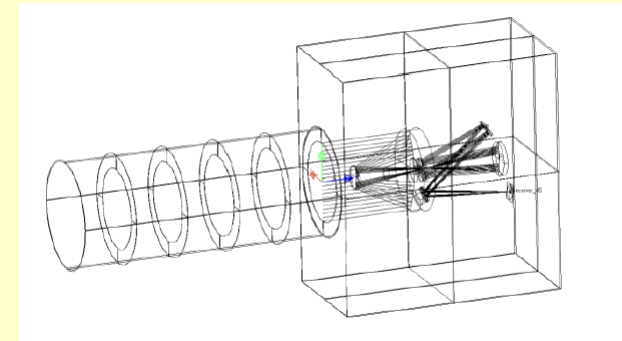
主鏡口径: 30cm、焦点距離: 3.9m

視野面積: 0.6度 × 0.6度

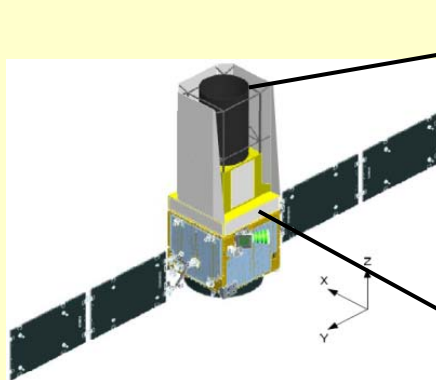
アストロメトリ用検出器: HgCdTe (4k × 4k) 1個

アストロメトリ用観測波長: Hw-band (1.1 ~ 1.7ミクロン)

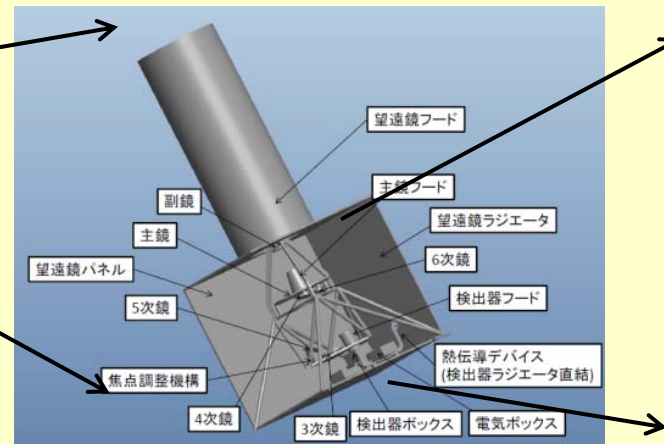
photometry用観測波長: J, Hバンド、HgCdTe (1k × 1k) 2個



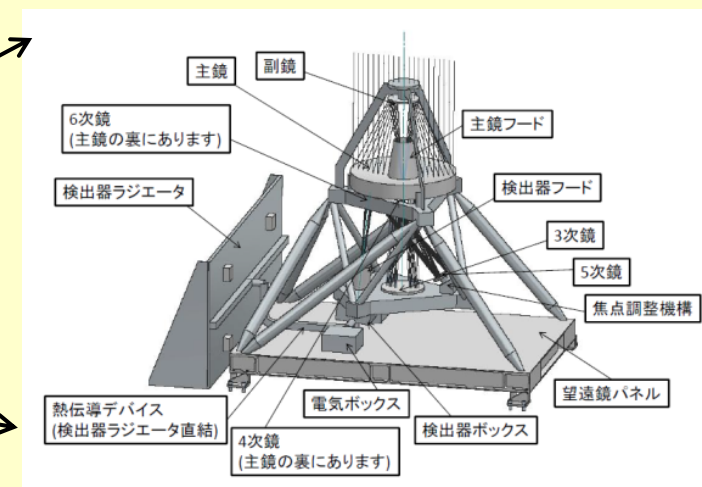
光学系  
(コルシュ系: 3枚鏡)



衛星システムの外観



ミッション部内部概観



望遠鏡部概観

# ★ミッション・システム要求を満たすシステム仕様案は検討済み

## ○観測装置性能:

- \* 迷光対策
- \* コンタミ、アウトガス対策
- \* 望遠鏡、検出器部の温度と熱設計
- \* 熱構造安定性
- \* 望遠鏡の指向安定性

## ○データ通信: 科学データ用にミッション部でXバンド使用

## ○データ処理系: 特に問題は無い。

## ○姿勢: 特に大きな問題は無い。

## ○電力: マージンあり。

## ○衛星重量: 制限を満たす(約335kg(RCS搭載の場合は、約400kg))

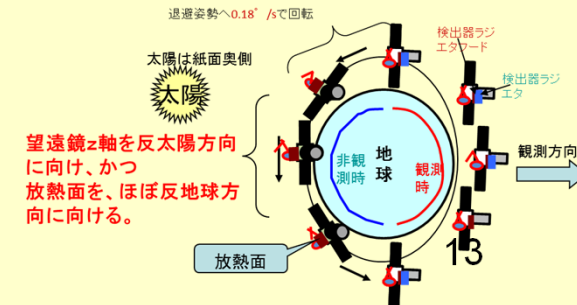
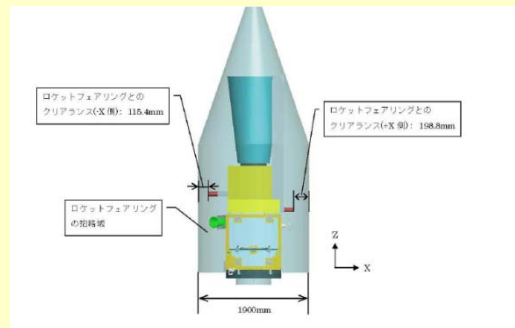
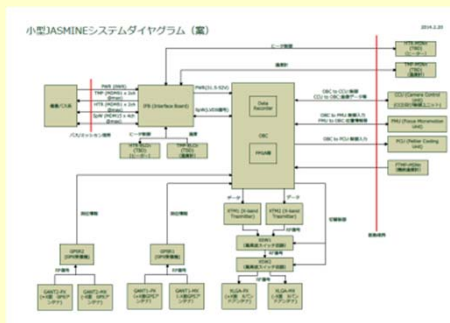
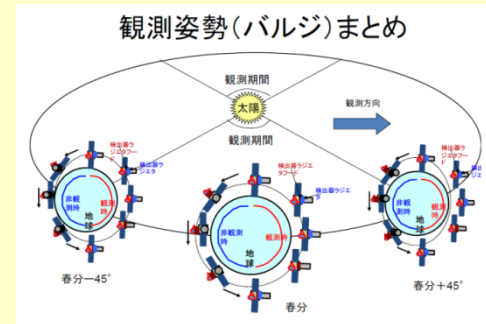
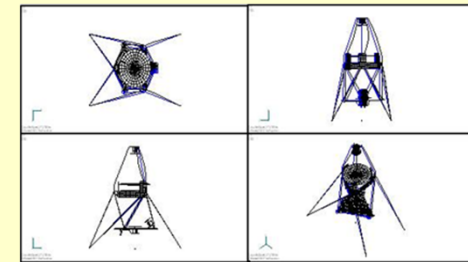
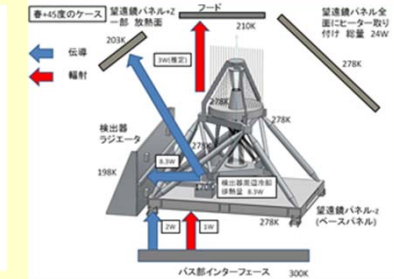
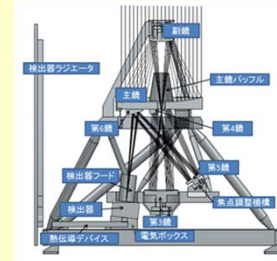
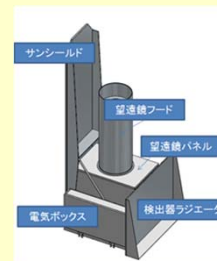
## ○標準バスとのインターフェース: 特に大きな問題は無い。

## ○データ解析手法: 同一天体の高頻度観測=>同一フレームが多数枚。

- \* 星の相対位置は短時間では変化しない、長時間では単独星は天球面上でらせん運動をする。  
=>自然の校正装置により、系統誤差の推測。  
残差はランダム化=>多数フレームにより、誤差が減少。
- \* 年周期の装置変動や永年変動=>GaiaやUCAC4の観測データを校正に使用

## ○コスト: リスク込みで、公募条件にある上限予算内の見込み

Criticalな技術要素に関しては、多段階(部分試作、BBM、EM、FM)の実証計画を立てている



## ★ミッション提案の状況

○イプシロン搭載宇宙科学ミッションの公募  
(2013年12月28日に公募がオープン)

\* 予算制限:  
85億円以内  
(プロジェクト終了までの総予算)  
+ 打ち上げ費用(~38億円)

ミッション提案を提出済み: 2014年2月28日

\* 国立天文台企画委員会(2014年2月)で審議の上、提案を行うことが承認された。

\* 提案準備にあたり、宇宙研SE推進室(紀伊室長)のサポート(12月~1月):  
懸念事項(技術、体制、コスト等)のpick upとその対策の協議  
ミッション提案に必要な書類の作成方法のアドバイス

○提出書類一式:

- 提案サマリ
- ミッション提案書+補足資料
- ミッション・システム要求書
- システムエンジニアリング・プロジェクトマネジメント計画書ドラフト
- リスク識別及びリスクマネジメント計画書ドラフト
- 総合システム開発仕様書(第1版ドラフト)
- 観測系サブシステム開発仕様書(第1版ドラフト)

○多段階選考

\*1 次選考(書類+ヒアリング): 理学、工学から各々最大2件を採択

→\* 理学4件の内、2件(小型JASMINEは通過)、工学は3件の内2件  
評価委員会からの検討課題を理学委員会のサポート付きで検討。

\* 6月に提案書改定版の提出。ヒアリング審査

\* 理学委員会(6/23)への評価委員会の報告:

1件も推薦はしない。ただし、小型JASMINEは、提案内容のさらなる見直しをより詳細な検討に基づいて  
継続して実施した場合、イプシロン搭載小型計画の候補として認め得る水準に到達できる可能性がある。

課題点: ○(小型科学衛星標準バスの保証寿命の1年を制限として課したが故に)10ヶ月間の科学運用をベースラインとしたが、  
その際の科学目的達成の信頼度の評価が1σ程度。→3σ以上にもっていく(観測期間の延長(コストの考慮を要する)と  
解析方法の改良により、見込みが立ってきている)。

○体制の強化

## § 5. VERAとの連携について

★電波と赤外線の特徴を活かせる天体をターゲットに

VERAとJASMINEで測定可能な同一天体の抽出

○Nano-JASMINE: 太陽系近傍

○小型JASMINE: 銀河系の中心核バルジ方向(春と秋)  
: 特定天体(夏と冬): 公募により決める

\* 共通に測定できる天体のpick upの作業開始を希望

### 科学的成果

VERAとタイアップした星形成領域の構造、星の形成史など

\*波長により見ている部分が違う場合あり: if 固有運動の相違→内部運動の導出

### データ解析

\*(年周視差などによる)キャリブレーション

\*GaiaのvalidationにとってもVERAは重要かも。

今後よろしく御願ひします

Jasmine

